

?s pn=jp 2000137815
S1 1 PN=JP 2000137815
?t s1/5

1/5/1

DIALOG(R)File 347:JAPIO
(c) 2005 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

06552086 **Image available**
NEW VIEWPOINT IMAGE GENERATING METHOD

PUB. NO.: 2000-137815 [*JP 2000137815* A]
PUBLISHED: May 16, 2000 (20000516)
INVENTOR(s): STEPHEN LABO
OZAKI YUTAKA
PHILIPPE BOROMIE
HAN TENRIN
APPLICANT(s): GEN TEC KK
APPL. NO.: 10-312139 [JP 98312139]
FILED: November 02, 1998 (19981102)
INTL CLASS: G06T-007/00; G06T-017/00; G06T-015/00

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable easy application to a three-dimensional body which has a complicated surface shape and a complicated texture and further a high-speed process by covering an object body in a photographed image with a triangular area and finding a projection conversion matrix from a three-dimensional space to an image of a new viewpoint.

SOLUTION: The projection conversion matrix from the three-dimensional space where the object body 22 is arranged to photographed images 25a to 25c is found by using a calibration box 21. In the box 21, quadrangular or triangular marks 23 are drawn on the floor surface and wall surfaces. The projection conversion matrix includes data, such as the positions, attitudes, and field angles of cameras 24a to 24c, regarding the cameras. All the photographed images 25 are related by specifying reference points at parts showing the shape of the object body 22 and the reference points are used to cover the whole image of the object body 22 with triangular areas. Then the projection conversion matrix to the image of the new viewpoint is found to generate a new-viewpoint image.

COPYRIGHT: (C)2000, JPO
?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-137815

(P2000-137815A)

(43) 公開日 平成12年5月16日 (2000.5.16)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	キーワード (参考)
G 0 6 T 7/00		G 0 6 F 15/62	4 1 5 5 B 0 5 0
17/00			3 5 0 A 5 B 0 5 7
15/00		15/72	4 5 0 A 5 B 0 8 0

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平10-312139

(22) 出願日 平成10年11月2日 (1998. 11. 2)

特許法第64条第2項ただし書の規定により図面第5図の一部は不掲載とした。

(71) 出願人 598108467

株式会社ゲン・テック

東京都渋谷区広尾5-19-9 広尾ONビル

(72) 発明者 ステファン ラボ

東京都渋谷区広尾5-19-9 広尾ONビル

株式会社ゲン・テック内

(72) 発明者 尾崎 裕

東京都渋谷区広尾5-19-9 広尾ONビル

株式会社ゲン・テック内

(74) 代理人 100100435

弁理士 久保田 健治

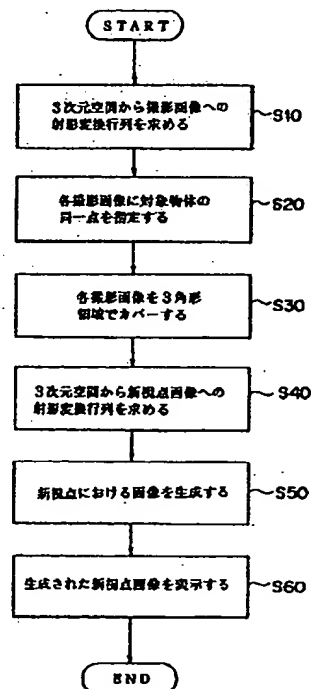
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 新視点画像生成方法

(57) 【要約】

【課題】 複雑な表面形状や複雑なテクスチャをもつ3次元物体にも適用でき、かつ、高速処理が可能な3次元画像生成方法及び装置を提供することを課題としている。

【解決手段】 新視点から見た画像を生成する方法において、3次元空間から撮影画像への射影変換行列を求める第1工程と、対象物体の形状を表す部分に点を指定し、指定点同士を対応づける第2工程と、3個の点を指定して3角形領域を形成し、3角形領域でカバーする第3工程と、3次元空間から新視点における画像への射影変換行列を求める第4工程と、新視点画像を生成する第5工程とを具備したことを特徴としている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 3次元空間における対象物体を複数の異なる視点から撮影した画像に基づいて新視点から見た該対象物体の画像を生成する方法であって、前記対象物体が配置された3次元空間から撮影画像への射影変換行列を求める第1工程と、撮影された対象物体の形状等を表す部分に点を指定し、前記複数の撮影画像上で該対象物体の同じ点を指定している各撮影画像の点同士を対応づける第2工程と、前記対応づけられた点のうち3個の点を指定して3角形領域を形成し、前記撮影画像の前記対象物体を該3角形領域でカバーする第3工程と、前記3次元空間から新視点の画像への射影変換行列を求める第4工程と、前記第1工程～第4工程によって得られたデータに基づいて新視点の画像を生成する第5工程とを含む画像生成方法において、前記第2工程はエッジ線上の点を相関を利用して探索し、対応点を自動的に抽出することを特徴とする新視点画像生成方法。

【請求項 2】 3次元空間における対象物体を複数の異なる視点から撮影した画像に基づいて新視点から見た該対象物体の画像を生成する方法であって、前記対象物体が配置された3次元空間から撮影画像への射影変換行列を求める第1工程と、撮影された対象物体の形状等を表す部分に点を指定し、前記複数の撮影画像上で該対象物体の同じ点を指定している各撮影画像の点同士を対応づける第2工程と、前記対応づけられた点のうち3個の点を指定して3角形領域を形成し、前記撮影画像の前記対象物体を該3角形領域でカバーする第3工程と、前記3次元空間から新視点の画像への射影変換行列を求める第4工程と、前記第1工程～第4工程によって得られたデータに基づいて新視点の画像を生成する第5工程とを含む画像生成方法において、前記第5工程は前記撮影画像を選択し、該選択された撮影画像のテクスチャをホモグラフィ変換を利用した逆ワーピングにより新視点画像にテクスチャをワーピングする工程を含むことを特徴とする新視点画像生成方法。

【請求項 3】 前記ホモグラフィ変換は、ゲンテック方式を利用して変換行列を求めることを特徴とする請求項2に記載の新視点画像生成方法。

【請求項 4】 3次元空間における対象物体を複数の異なる視点から撮影した画像に基づいて新視点から見た該対象物体の画像を生成する方法であって、前記対象物体が配置された3次元空間から撮影画像への射影変換行列を求める第1工程と、撮影された対象物体の形状等を表す部分に点を指定し、前記複数の撮影画像上で該対象物体の同じ点を指定している各撮影画像の点同士を対応づける第2工程と、前記対応づけられた点のうち3個の点を指定して3角形領域を形成し、前記撮影画像の前記対象物体を該3角形領域でカバーする第3工程と、前記3次元空間から新視点の画像への射影変換行列を求める第4工程と、前記第1工程～第4工程によって得られたデ

ータに基づいて新視点の画像を生成する第5工程とを含む画像生成方法において、前記第5工程は、各3角形領域についてソーテングを行って、不可視の領域が新視点画像面に表れないようにしたことを特徴とする新視点画像生成方法。

【請求項 5】 前記ソーテングは、バウンディングボックスを利用して不可視の領域が表れないようにしたことを特徴とする請求項4に記載の新視点画像生成方法。

【請求項 6】 前記ソーテング工程の前又は後において、バックフェースカリングを行ったことを特徴とする請求項4又は請求項5の何れか1に記載の新視点画像生成方法。

【請求項 7】 3次元空間における対象物体を複数の異なる視点から撮影した画像に基づいて新視点から見た該対象物体の画像を生成する方法であって、前記対象物体が配置された3次元空間から撮影画像への射影変換行列を求める第1工程と、撮影された対象物体の形状等を表す部分に点を指定し、前記複数の撮影画像上で該対象物体の同じ点を指定している各撮影画像の点同士を対応づける第2工程と、前記対応づけられた点のうち3個の点を指定して3角形領域を形成し、前記撮影画像の前記対象物体を該3角形領域でカバーする第3工程と、前記3次元空間から新視点の画像への射影変換行列を求める第4工程と、前記第1工程～第4工程によって得られたデータに基づいて新視点の画像を生成する第5工程とを含む画像生成方法において、前記第1工程は、前記撮影画像が3枚以上の場合にバンドル調整法による射影変換行列の修正工程を含むことを特徴とする新視点画像生成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、3次元空間における対象物体の画像生成の技術分野に属する。更に詳細には、複数の撮影画像を利用して別の視点から見た画像を生成する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】コンピュータの処理速度の高速化、メモリの大容量化によって近年3次元空間における物体の画像処理が急速に発展している。例えば、公開特許公報第平10-27268号に記載されているように、3次元空間における物体又は風景が視点が変わるにつれて3次元画像の変化を生成する技術にも利用されている。このような場合に、3次元物体の表面の全点の3次元座標及びその点の情報をメモリに記録して、視点が変わったときはそれらを演算により求めて表示する方法が単純で理論的にも明快な方法であると考えられる。しかし、現状の段階ではメモリ容量、処理時間の関係等から非現実的である。一方、2次元画像は現状の技術で処理可能であるが、2次元画像だけからでは視点の変化に対して物体の形状等が変化した画像を生成することができな

い。

【0003】そこで、従来は、ある種のバーチャルリアリティのように、多数の2次元画像を撮影しておき、視点の変化したときには、視点の変化に対応して撮影画像を切り換えて見せることにより、3次元空間を体験させる技術も開発されている。しかし、この方法は予め、多数の撮影画像を準備しておく必要があり、準備された画像により視点の変化が制約されるという欠点があった。また、画像の電送には多大の時間が必要であり、問題であった。

【0004】また、別の従来方法としては、例えば、公開特許公報、特開平9-212689に開示されている画像描画装置では、3次元画像、即ち、3次元空間における3次元物体の画像を構成する個々の物体に着目し、基本的な立体や、それらの位置関係及び立体の表面の模様を文字等の手段によって記憶し、文字等で記述された基本形状から実際の3次元形状を生成する方法を採用している。

【0005】しかし、このような方法は人間の持っているイメージや概念等を仲介して表現し、記録しているため複雑な形状の3次元物体や複雑なテクスチャを持つ物体の画像生成に適用するのは困難である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】この発明は、上述のような背景の下になされたもので、3次元画像の距離情報を客観的な手段で表現でき、複雑な表面形状や複雑なテクスチャをもつ3次元物体にも容易に適用でき、かつ、従来の方法に比べて簡単な3次元モデルを構成するだけで高速処理が可能な3次元画像生成方法及び装置を提供することを課題としている。本出願人は上記課題を解決するために、特許出願（平成10年第227069号）において、既に幾つかの解決手段を提案している。本発明は前記解決手段に追加する解決手段、改良した解決手段及び新たな解決手段を提供するものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために本発明は以下の手段を採用している。即ち、請求項1に記載の発明は、3次元空間における対象物体を複数の異なる視点から撮影した画像に基づいて新視点から見た該対象物体の画像を生成する方法であって、前記対象物体が配置された3次元空間から撮影画像への射影変換行列を求める第1工程と、撮影された対象物体の形状等を表す部分に点を指定し、前記複数の撮影画像上で該対象物体の同じ点を指定している各撮影画像の点同士を対応づける第2工程と、前記対応づけられた点のうち3個の点を指定して3角形領域を形成し、前記撮影画像の前記対象物体を該3角形領域でカバーする第3工程と、前記3次元空間から新視点の画像への射影変換行列を求める第4工程と、前記第1工程～第4工程によって得られたデータに基づいて新視点の画像を生成する第5工程とを

含む画像生成方法において、前記第2工程はエビ極線上の点を相関を利用して探索し、対応点を自動的に抽出することを特徴としている。請求項1に記載の発明は最初の撮影画像に参照点を指定すれば、残りの他の撮影画像については自動的に対応した参照点が付与されることを1つの特徴としている。

【0008】請求項2に記載の発明は、前記した画像生成方法において、第5工程は前記撮影画像を選択し、該選択された撮影画像のテクスチャをホモグラフィ変換を利用した逆ワーピングにより新視点画像にテクスチャをワーピングする工程を含むことを特徴としている。

【0009】請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の発明において、前記ホモグラフィ変換は、ゲンテック方式を利用して変換行列を求めることを特徴としている。本発明は正確で安定な解が得られるゲンテック方式を採用したことを1つの特徴としている。

【0010】請求項4に記載の発明は、前記した画像生成方法において、第5工程は各3角形領域についてソーテングを行って、不可視の領域が新視点画像面に表れないようにしたことを特徴としている。本発明は不可視の画像を見えないようにしたことを1つの特徴としている。

【0011】請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の発明において、前記ソーテングは、バウンディングボックスを利用して不可視の領域が表れないようにしたことを特徴としている。本発明はバウンディングボックスを利用して、ソーテングを簡易化したことを1つの特徴としている。

【0012】請求項6に記載の発明は、請求項4又は請求項5記載の発明において、前記ソーテング工程の前又は後において、バックフェースカリングを行ったことを特徴としている。本発明は視点からみて3角形領域の表面が見えない場合はワーピングをしないことを1つの特徴としている。

【0013】請求項7に記載の発明は、前記した画像生成方法において、第1工程は、前記撮影画像が3枚以上の場合にバンドル調整法による射影変換行列の修正工程を含むことを特徴としている。本発明は全ての撮影画像間の変換が一致するように調整したことを1つの特徴としている。

【0014】

【発明の実施形態】図1は本発明の実施形態のアルゴリズムの全体のフローチャートである。図2はキャリブレーションボックスと撮影画像の配置関係を示した図である。図3はエビ曲線の例を示した図である。図4は相関を利用して対応点の自動探索法を示した図である。図5は撮影画像の物体を3角形領域でカバーした例を示した図である。図6はステップS50の詳細内容を示したフローチャートである。図7～図9はバウンディングボックスを使用したソーテングの方法を説明したフローチャ

ート及び説明図である。図10はバックフェースカリングを説明した図である。図11及び図12はバックフェースカリングの具体例を示した図である。図13はホモグラフィック変換によるワーピングを説明するための図である。図14～図16はバンドル調整を説明した図である。以下、図面を参照してこの発明の実施形態について説明する。

【0015】図1を参照して本実施形態の方法の全体手順を説明する。まず、ステップS10は、図2に示すように、対象物体22が配置された3次元空間から撮影画像25(25a～25c)への射影変換行列を求める第1工程で、キャリブレーションボックス21を利用する。即ち、3次元空間に置かれたキャリブレーションボックス21には、床面及び壁面に4角形又は3角形等の複数の目印22が描かれている。目印の4角形等の頂点の座標は3次元空間において規定された既知の3次元座標(X、Y、Z)を持っている。各撮影画像25a～25cには対象物体22と共にキャリブレーションボックス21の目印23が撮影されている。

【0016】次に、3次元空間から各撮影画像への射影変換行列の求め方について説明する。まず、撮影画像25aについて射影変換行列を求める。指定された目印点13の3次元座標(X、Y、Z)及び撮影画像25aの対応する目印点の2次元座標(x、y)を読みとる。指定された目印点(少なくとも6個以上)の3次元座標、2次元座標を読みとったら、これらの座標データから射影変換行列は6個の連立方程式を解くことにより(又は目印点が6個以上の場合には最小二乗法を利用した演算により)求められる。この演算方法は公知であり、従来技術を利用して求める。

【0017】この射影変換行列にはカメラ24aの位置、姿勢、画角等のカメラに関するデータが全て含まれている。求めた射影変換行列はメモリに記録する。他の残りの撮影画像25b、25cについても同様に射影変換行列を求め記録する。なお、指定する目印点の数が多いほど正確な射影変換行列が求められる。また、任意の視点から見た画像を計算で生成させるためには1対の画像だけでは不十分であり、対象物体のいろんな角度から見た撮影画像を用意しておくことが望ましい。この場合に各撮影画像を首尾一貫したものにするためには射影変換行列をバンドル調整によって調整しておく必要がある。バンドル調整の方法については後述する。

【0018】ステップS20(第2工程)では全ての撮影画像について、対象物体の形状を表す部分に点(以下、参照点という)を指定する。各撮影画像について参照点の対応付けを行うことにより、各撮影画像は関連づけられる。この関連づけにより、新視点から見た画像と任意の撮影画像との関係が定められ、新視点画像の生成に撮影画像のピクセルデータが利用できる。なお、各撮影画像上の参照点は3次元物体上の同じ点を指してい

る。撮影画像の参照点の指定は2番目以降の撮影画像については、以下に説明するように相関を利用して自動的に指定することもできる。

【0019】まず、図3に示すように、撮影画像のうち任意の1個(以下、第1撮影画像という)をディスプレイに表示し、対象物体の形状を表す部分の参照点Piをマウス(ライトペン等を使用してもよい)で指定する。指定する参照点Piは、対象物体のエッジ及びコーナ部、目立つテクスチャやその切れ目、対象物体の突起部の頂点や凹み部分等の画像の特定が容易な点を指定するのが好ましい。また、参照点は後述する第3工程の対象物体の撮影画像を分割する基点となるものである。第1画像の参照点は上記の事項を目安にしてオペレータが指定する。

【0020】次に、2枚目の撮影画像を選択して表示する(以下、第2撮影画像という)。表示は最初の画像と一緒に表示するのが望ましい。なお、自動的に抽出する場合は表示は必ずしも必要ではない。第1撮影画像の参照点Pi(図3参照)から第2画像の対応点Qiを求める。参照点Piと参照点Qiは対象物体上の同じ点を指している。従って、参照点Qiは参照点Piのエビ極線Ei上にあることが知られている。エビ曲線Eiは参照点PiとQiが対象物体の同一点であるための拘束条件(エビポーラ拘束)から導かれる直線関係である。従って、参照点Qiはエビ極線Ei上になければならない。参照点Qiを決定するために、図4に示すように、参照点Piの近傍領域のデータ(ピクセルデータ)とエビ極線Ei上の点Qi(1)、Qi(2)、・・・、Qi(n)の近傍領域のデータとの相関を計算し、相関が最大になる点を参照点Qiと定める。

【0021】次に、3番目の撮影画像(以下、第3画像という)に対しては以下のようにして参照点を決定することができる。まず、1番目及び2番目の撮影画像の射影変換行列と上記で求めた参照点の座標データを用いて演算により3次元空間の対応点(対象物体上の点)の座標(X、Y、Z)を求める。この対象物体上の点の座標に対して第3撮影画像の射影変換行列を適用することにより第3撮影画像の参照点が求められる。以下、同様にして、4番目以降の撮影画像に対しては計算により参照点を決定することができる。以上の手続きを繰り返し、全ての参照点を決定する。

【0022】ステップS30(第3工程)は各撮影画像における対象物体の画像を3角形領域でカバーする。即ち、ステップS20で求めた参照点を利用して対象物体の画像全体を3角形領域でカバーする。この3角形領域についても各撮影画像間で対応づけられている。各撮影画像において、対象物体は複数の3角領域を接続して合成したものとしてみなされる。即ち、各3角形領域はその頂点を通過する平面とみなされ、この平面には撮影画像の対応するテクスチャが与えられている。また、各頂

点是对应する3次元空間における点の座標が与えられており、3次元空間の対象物体の曲面を複数の平面3角形を接続した折れ平面で近似し、そのテクスチャは撮影画像に表されているテクスチャを持っているとみなす。以上の3角形領域のカバーリングは全ての撮影画像について行われ、各3角形領域は参照点と共に各撮影画像間で対応づけられて、そのデータはメモリに記録されている。

【0023】図5は撮影画像で表されている対象物体を3角形領域で分割し、カバーした1例を示している。3角形領域の分割の指定は対象物体の表面形状が正確に近似され、かつ、3角形領域の個数が少ないのが望ましい。従って、平面部分は大きな3角形で指定し、曲面部分は小さな3角形で指定する。3角形の指定は、後の処理を容易にするため重ならないように指定する。また、指定された3角形領域では対象物体の表面形状を正確に再現していない場合、例えば3角形領域が大きすぎたり、指定が不適切な場合には参照点を追加し、若しくは変更することも可能である。図5は缶の画像について行った例である。

【0024】ステップS40（第4工程）では新視点における角度又は位置を求め、さらに、新視点における画像への射影変換行列を求める。まず、回転角度又は位置を求める。これはキーボード6から数値データを入力してもよいが、マウス7のドラッグした距離（クリックを押しながら移動した距離）によって与えてもよい。

【0025】回転角度は基準のカメラアングル、例えば1番目の撮影画像のカメラアングルを基準とする。即ち、1番目のカメラの視点と3次元空間の原点と結ぶ直線の水平角度及び垂直角度を共に基準に選び、ゼロとする。その固定された基準アングルから計測し、停止した場合はその回転角度をメモリに記録し、再度ドラッグした場合はそのドラッグ距離に応じた回転角度を追加する。得られた角度から、対応する回転行列を演算によって求め、この回転行列を基準とする撮影画像に対する射影変換行列に作用させて、新視点画像の射影変換行列を得る。

【0026】ステップS50は新視点画像を生成するレンダリング工程（第5工程）である。この工程の詳細を図6に示す。ステップS51では新視点画像の参照点を決定するために、2個の撮影画像を選択する。このため、新視点のカメラ光軸を求める。カメラ光軸は、新視点画像の結像面とカメラの焦点面とに垂直な直線で光心（レンズの中心点に相当する点）を通る直線をいう。各撮影画像の視点と求めたカメラ光軸との距離を計算し、距離の最も小さい2個の撮影画像を選択する。

【0027】ステップS52では選択された2個の撮影画像のデータから対応する参照点及び対応する3角形頂点のデータを求める。対応する参照点を求める演算方法には例えば以下の方法がある。即ち、2個の撮影画像に

対する射影変換行列と対応する参照点座標を利用する方法がある。また、2つの撮影画像のデータから2本のエッジ線を生成させて、それらの交点から求める方法がある。更に、トリフォーカルテンソルを利用する方法もある。本実施形態では第1番目の方法を採用するが、他の方法を使用する場合も本発明の範囲に属する。

【0028】第1番目の方法は、2個の射影変換行列と対応する参照点座標から3次元空間における対象物体上の対応点の3次元座標を求め、求めた点に新視点画像の射影変換行列を作用させて新視点画像の参照点を求める方法である。なお、3次元空間における対象物体上の対応点を予め求めておいて、記録しておき、これを利用してもよい。

【0029】次に、ステップS53では、得られた参照点と、選択された1個の撮影画像（光軸との距離が最小の撮影画像を選択する。）の3角形頂点データとから対応する新視点画像の3角形領域を求める。求めた3角領域と新参照点データを同じインデックスを付して新3角形頂点データ共にメモリに記録する。

【0030】ステップS54では隠面処理のためのソーティングを行う。このソーティングにおいては、本発明における3角形領域の形成方法から図7（A）又は（B）に示すような3角形領域が交叉する場合は生じない。図7（A）は3つの3角形が相互に前後関係にある場合であり、図7（B）は2つの3角形が部分的に前後関係にある場合である。ソーティングを行うためには2個の3角形領域の前後関係を調べる必要があり、ソーティングのための前後関係を調べる手段としてバウンディングボックス（以下、BBと記す）を利用する。

【0031】BBは、図7（C）に示すように、3角形の頂点のx座標の最小値、y座標の最小値を（x、y）座標とする点Sと、3角形の頂点のx座標の最大値、y座標の最大値を（x、y）座標とする点Tを角点とする矩形として定義する。同様にして、3角形の頂点のz座標の最小値と最大値とで定まるz座標の範囲（z最小値、z最大値）を3角形のz範囲と定義する。ここにおけるz座標は3次元空間における光心と各頂点の間の距離を使用する。

【0032】まず、新視点画像における3角形の中から任意の2個の3角形を選び、隠面処理のための2個の3角形の前後関係を調べる手順を図8に示す。図8において、ステップS1では2個の3角形についてBBを求める。ステップS2は2個のBBがオーバーラップするか否かを調べる。オーバーラップする場合には、ステップS3で2個の3角形についてz範囲を調べる。BBがオーバーラップしない場合（ステップS4）は描く順序は独立であり、どちらを先に描いてもよい。

【0033】ステップS5ではz範囲がオーバーラップするかどうかを調べる。オーバーラップしない場合は、ステップ6で処理Aを行う。処理Aは詳細な検討をせずにz

座標の大きい方の3角領域を先に描くように順序をつける。z範囲がオーバーラップする場合は(x、y)平面における2個の3角形の頂点のうち、共有する頂点の個数を調べる。共有する頂点がない場合は、図9に示す

(A)～(C)の場合であり、処理Bを行う。

【0034】処理Bでは、一方の3角形が他方の3角形の内部にあるかどうかを調べ、内部にある場合は図

(A)の場合に相当する。この場合は2個の3角形のz座標の前後関係を調べ、後方にある3角形を先に描く

(或いは省略する)。内部にない場合は更に、両3角形の辺の線分が交叉するものがあるかどうかを調べる。交叉する線分がない場合は図(B)に相当し、描く順序は独立である。交叉する線分がある場合は図(C)に相当する。この場合は、交点の前後関係を調べ、後方にある3角形を先に描く。

【0035】1個の頂点を共有する場合はステップ12で処理Cを行う。処理Cでは辺の線分が交叉するかどうかを調べ、交叉しない場合は図(D)に相当し、描く順序は独立である。交叉する場合は図(E)に相当し、交点の前後関係を調べ、後方にある3角形を先に描く。2個の頂点を共有する場合は共通線分の同じ側にあるかどうかを調べ、同じ側にない場合は図(F)に相当し、描く順序は独立である。同じ側にある場合は交叉する線分の交点の前後関係を調べ、後方にある方を先に描く。以上に述べた手順により2個の3角形の描く順序関係が与えられる。これを新視点画像における3角領域の全ての組み合わせについて行う。

【0036】ステップS55ではバックフェースカリングを行う。バックフェースカリングとは、3角領域がカメラの焦点F(図10参照)からみて裏面を表している場合には3角領域のテクスチャのワーピングを省略することをいう。即ち、新視点におけるカメラ焦点から見て表面を表していない部分にはピクセルデータをワーピングしないで処理速度を速めるための操作である。図11に示すように、凸面体の対象物体について、撮影画像Aから新視点画像を生成する場合について考える。立方体の対象物体ABCDEFGHの面ABCDにはハート17が、面CDHGにはダイヤ18が、面ADHEにはスベード19が描かれている。まず、バックフェースカリングなしの場合は、最初に、図(B)のように、一番遠くにある3角領域EGHのワーピングが行われ、スベード19の一部19aとダイヤ18の一部18aがワーピングされる。また、3角領域EFGについてワーピングが行われる。同様に、面ABFEの3角領域、面BCGFの3角領域(図示されていない)についても行われる。その後から、手前の面AEHD、面CDHG及び面ABCDに指定されている3角領域(図示省略)についてワーピングが行われて、図(C)に示すようにハート17、ダイヤ18及びスベード19が上描きされる。すなわち、矢印の①、②の順にワーピング

される。一方、バックフェースカリングをして新視点画像を生成する場合には、直接図(C)のように、ハート17、ダイヤ18及びスベード19がワーピングされ、手順は矢印③のみとなる。従って、この場合は結果として同じ新視点画像が得られる。即ち、バックフェースカリングは処理時間を速めるという効果が得られる。

【0037】対象物体が凹面体、例えば、コップや皿等の場合は、上記と異なる。図12に示すようにコップ16の内面17が新視点画像に表れる場合にはバックフェースカリングをしないと内面の模様または色が描かれ、バックフェースカリングをするとこの部分17はワーピングされないで黒(模様ではなく、ピクセルデータがない)として表される。従って、コップのように内面が見えるものはバックフェースカリングしない方が実際の画像とよりよく一致する。

【0038】新視点画像における各3角領域が表面であるか裏面であるかの判断は以下のように行う。図10において、3角形10は3次元空間における対象物体上の3角領域ABCとする。頂点A、B、Cの座標は既知であり、その番号を反時計方向に増大するように13、14、15と付すとすれば、3角形10を平面として、その任意の頂点A(又はB、C)の法線ベクトルnは容易に求められる。また、この法線ベクトルnは3角形10内の任意の点における法線ベクトルと方向及び向きは一致している。カメラの焦点Fとし、画像12上の点Aの像を点aとし、点Fから点aへのベクトルをuとする。ベクトルnとベクトルuのなす鋭角 θ が $-90^\circ < \theta < 90^\circ$ であるか θ が $90^\circ < \theta < 180^\circ$ であるか、即ち、3角形10の表面が焦点Fから見えるかどうかの判定はベクトルuとnの内積 $W = u \cdot n$ を計算すればよい。内積Wが3角形10の表面が画像12に表れるかどうかはすぐに判定できる。内積Wが正であれば、 $-90^\circ < \theta < 90^\circ$ で3角形10の表面は見え、バックフェースカリングを行う。内積Wが負であれば3角形10の表面は焦点Fから見える。なお、3角形10は平面3角形と仮定しているため表面一部が見えて、表面の他の一部が陰に隠れるということは起こらない。

【0039】ステップS56は逆方向ワーピングを行う。逆方向ワーピングは図13に示すように、新視点画像上の3角形14の点mに選択された撮影画像の対応する3角形16の領域内から、対応点m'を求め、対応点m'のピクセルデータを点mのピクセルデータとして与えるための処理である。従って、ここでは新視点画像の3角形14の点mから指定された撮影画像(以下、ソース画像という)の3角形の点m'に変換する射影変換Hを求めることが問題となる。

【0040】射影変換Hとしては、アフィン変換を利用する方法、エビ曲線を利用するホモグラフィ変換がある。アフィン変換は変換行列を求めるのが容易で優れた近似方式であるが、正確な変換ではない。エビ曲線を利

10

20

30

40

50

用したホモグラフィ変換は問題の3三角形が細長い等の場合において、エビ曲線が同じ3三角形の2つの頂点を通る直線の近くにあるときには数値的に不安定が生じるという問題がある。従って、正確な変換を求める場合には以下に提案する方式を採用する。

$$\text{条件①: } m_i' = H \cdot m_i \quad (i=0, 1, 2)$$

$$\text{条件②: } (m_i')^T \cdot F \cdot m_i = 0 \quad (i=0, 1, 2)$$

条件①は新視点画像の3三角形14の頂点 m_i ($i=0, 1, 2$) がソース画像の3三角形16の頂点 m_i' ($i=0, 1, 2$) に射影変換される条件で、条件②はエビボール拘束条件である。Fは新視点画像からソースが像への1つの基本行列である。なお、「 \cdot 」は転置を意味する。条件②に条件①を代入した結果からエビボール拘束条件は条件③のように変形される。従って、本問題は条件①、③を満たす変換行列Hを求めることと等価である。条件③は、

$$\text{条件③: } H^T \cdot F + F^T \cdot H = 0$$

である。即ち、条件③は行列 $(H^T \cdot F)$ は歪対象行列であることを意味する。

【0042】条件③を条件④に変形する。

条件④: $A \cdot h = 0$ 但し、 h は (1×9) の縦ベクトルで、行列Hの行を縦に並べたベクトルで、 $h = \{H$

$$\text{条件①'} : m_i' \times H \cdot m_i = 0, \quad (i=0, 1, 2)$$

条件①'に m_i, m_i' ($i=0, 1, 2$) の座標を代入して、整理すると条件⑤が得られる。

$$\text{条件⑤: } B \cdot h = 0$$

但し、Bは (6×9) 行列で、その要素は m_i と m_i' ($i=0, 1, 2$) の座標値 x_i, y_i 及び x_i', y_i' ($i=0, 1, 2$) で与えられ、 h は条件④の解である。従って、連立方程式 $B \cdot C \cdot c = 0$ を c について解けば目的のホモグラフィHが求まる。

【0044】上記連立方程式 $B \cdot C \cdot c = 0$ は方程式が6個で、未知数 c は、 $\{c_0, c_1, c_2, c_3\}$ の4個であるので最小二乗法を使用して一意的に求める。以上により、行列Hが求められたので、新視点画像14に適宜に配置した点 m の対応点 m' が求められる。従って、点 m' のピクセルデータを点 m に付与することにより3三角形14、16の逆ワーピングが行われる。以上の手順を新視点画像の全ての3三角形領域について実行する。このゲンテック方式は最小二乗法を使用して解を求めため不安定になることがない。従って、ゲンテック方式を利用したホモグラフィ変換を使用すれば正確かつ安定な逆ワーピングを行うことができる。

【0045】次に、バンドル調整法について説明する。広範囲にわたる新視点から見た画像を一对の撮影画像から生成させると正確な新視点画像を生成することができない。従って、対象物体のいろんな角度から見た撮影画像を用意しておくことが望ましい。例えば、図14に示すように、一定の間隔でカメラを配置し、それらの撮影画像を利用することが望ましい。図14では6台のカメ

【0041】以下に、提案する新しい方式(以下ゲンテック方式という)を説明する。ゲンテック方式は、以下の条件①及び②を満たす変換行列H(3×3 行列)を求める方式である。

$\{H_{01}, H_{02}, H_{10}, \dots, H_{22}\}^T$ である。行列Aは (6×9) 行列でその係数は基本行列Fから取られる。行列Aを特異値分解すると、 $A = U \cdot S \cdot V^T$ と表せる。ここで、Uは (6×6) 直交行列、Sは (6×9) 行列、Vは (9×9) 直交行列である。また、Sの対角行列の最後の項 S_{66} は、 $S_{66} = 0$ となり、条件④の解 h は、4個の自由度を持つ。従って、解 h は基底ベクトル h_0, h_1, h_2, h_3 の1次結合として表現できる。即ち、 $h = c_0 \cdot h_0 + c_1 \cdot h_1 + c_2 \cdot h_2 + c_3 \cdot h_3 = C \cdot c$ となる。ここで、 $c = \{c_0, c_1, c_2, c_3\}^T$ で $c_0 \sim c_3$ は未知の実係数である。また、行列Cは (4×4) 行列で、 $C = \{h_0, h_1, h_2, h_3\}$ となる。

20 【0043】条件①は、ベクトルの外積の形、即ち、条件①'と書き直してもよい。

ラを等間隔で配置した場合を示す。この場合において、例えば、カメラ3と4の間の角度から見た新視点画像を生成するにはカメラ3又は4による撮影画像又は双方の撮影画像を利用することが考えられる。また、カメラ4と5の間の角度から見た新視点画像を生成するにはカメラ4又は5による撮影画像を利用するのが便利である。

30 【0046】しかしながら、複数のカメラを配置した場合にはその複数のカメラのジオメトリが一致していなければ選択された撮影画像によって新視点画像が異なるものとなり、好ましくない。即ち、図15に示すように、3次元物体上の点をMとした場合に、カメラ1~5の撮影画像の点を $m_1 \sim m_5$ とする。この場合カメラ1~5の光心(ピンホールカメラのピンホールに相当する点)を $C_1 \sim C_5$ とすると、半直線 $(m_1, C_1) \sim$ 半直線 (m_5, C_5) は一点Mで交わらなければならない。一点Mで交わらない場合は $m_1 \sim m_5$ を点Mの正確な像とみなすことができない。そこで、この場合に射影変換行列のパラメータをバンドル調整により修正する。

【0047】バンドル調整には2つの方法がある。即ち、全ての射影変換行列 P_i ($i=1, 2, \dots, M$) 及び3次元の対象物体上の全ての参照点 M_j ($j=1, 2, \dots, N$) について明示的に評価Jを最小化する明示的バンドル調整と、射影変換行列 P_i ($i=1, 2, \dots, M$) について評価Jを最小化する暗黙的バンドル調整とがある。評価Jとしては、例えば、基準化した偏差の距離の二乗の全体和J(又は評価Jの平方根)を評価として採用する。

$J = \sum \sum' \{ (C x_{ij})^2 + (C y_{ij})^2 \}$ 、
ここで、 $C x_{ij} = m_{ij}^1 / m_{ij}^3 - (P_i \cdot M_j)^1 / (P_i \cdot M_j)^3$ 、 $C y_{ij} = m_{ij}^2 / m_{ij}^3 - (P_i \cdot M_j)^2 / (P_i \cdot M_j)^3$ である。なお、最初の \sum は $i = 1, 2, \dots, M$ までの和を表し、2 番目の \sum' は $j = 1, 2, \dots, N$ までの和を表す。また、 m_{ij} 及び $(P_i \cdot M_j)$ の右肩の数字は要素の番号を示す。

【0048】明示的バンドル調整は評価 J を P_i ($i = 1, 2, \dots, M$) 及び M_j ($j = 1, 2, \dots, N$) について最小化するものであり、最適化された P_i^* ($i = 1, 2, \dots, M$) 及び M_j^* ($j = 1, 2, \dots, N$) が同時に求められる。一方、暗黙的バンドル調整は評価 J を P_i ($i = 1, 2, \dots, M$) について最小化し、次に最小化した P_i^* ($i = 1, 2, \dots, M$) を用いて評価 J を M_j について最小化する、手続きを繰り返して最適化された P_i^* ($i = 1, 2, \dots, M$) 及び M_j^* ($j = 1, 2, \dots, N$) を求めるものである。

【0049】両者の解は理論的には一致するはずであるが、途中の計算過程が異なる。最小化する計算方法としてはニュートンの最小化方法に類似した最小化方法が公知であり、この公知技術を使用する。なお、本発明ではどちらを使用してもよく、問題に合わせて適宜選択する。

【0050】以上、この発明の実施形態、実施例を図面により詳述してきたが、具体的な構成はこの実施例に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。例えば、ワーピングにおける射影変換は上記したゲンテック方式に限られるものではなく、エビ曲線を使用したホモグラフィック変換でもよいし、アフィン変換を使用した場合も本発明の範囲に入る。本願発明の範囲はあくまでも各請求項に記載されている通りである。

【0051】

【発明の効果】以上説明したように、この発明の構成によれば、請求項 1 記載の発明では、各撮影画像における対応点（又は参照点）は 1 個の撮影画像で定めれば、他の撮影画像については自動的に定められるので、操作が容易になるという効果がある。請求項 2、3 記載の発明では、正確なワーピングが可能になるという効果があり、更に、請求項 3 記載の発明では変換行列を求める計算が安定になるという効果がある。

【0052】請求項 4、5 記載の発明では不可視の形状等の像が新視点画像に表れないため、実際との近似が良くなるという効果がある。請求項 6 記載の発明では、新視点画像における物体の裏面は表面の画像と区別されて表示されるため、生成された画像が見易いという効果がある。

ある。請求項 6 記載の発明ではバックフェースカリングをすることにより、その部分のワーピングが省略されるため処理速度が速くなるという効果がある。請求項 7 記載の発明では、多数の撮影画像を使用した場合に各撮影画像間の一致が取られているので、ワーピングする場合の選択画像によって新視点画像に差が生じにくいという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施形態のアルゴリズムのフローチャートを示す。

【図 2】 対象物体と画像の関係を示した図である。

【図 3】 エビ曲線の例を示した図である。

【図 4】 相関を利用して対応点の自動探索法を示した図である。

【図 5】 撮影画像の物体を 3 角形領域でカバーした例を示した図である。

【図 6】 新視点画像の生成のアルゴリズムのフローチャートを示す。

【図 7】 (A)、(B) は交叉する 3 角形を示し、(C) はバウンダリ・ボックスの説明図である。

【図 8】 ソーティングのアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図 9】 (A) ~ (G) は 2 つの 3 角形領域の関係を示した図である。

【図 10】 バックフェースカリングを説明する図であり、バックフェースを求める原理を示した図である。

【図 11】 バックフェースカリングの具体例を示す図である。

【図 12】 バックフェースカリングの具体例を示す図である。

【図 13】 逆ワーピングを説明した図である。

【図 14】 多数のカメラを配置した例を示す図である。

【図 15】 多数のカメラを配置した場合にバンドル調整が必要であることを説明した図である。

【図 16】 3 次元空間の物体と撮影画像の点との符号関係を示す。

【符号の説明】

BB . . . バウンディングボックス

Ei . . . エビ曲線

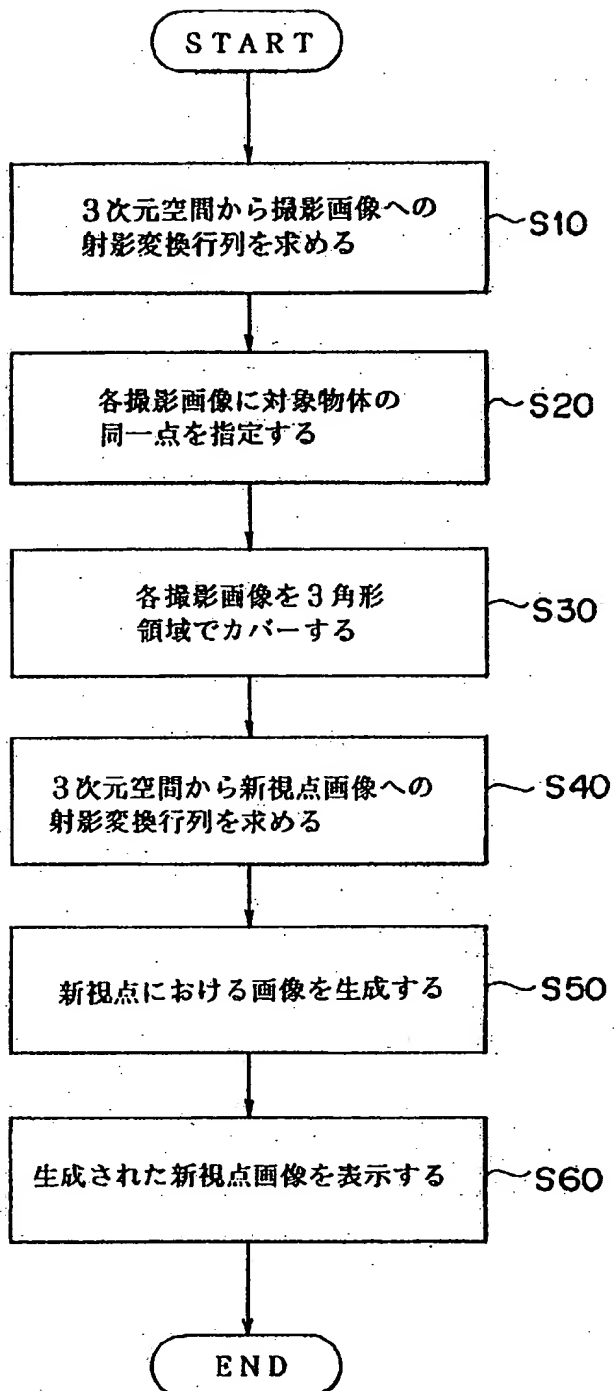
H . . . 画像間の射影変換行列

M . . . 3 次元空間における物体上の点 (ベクトル)

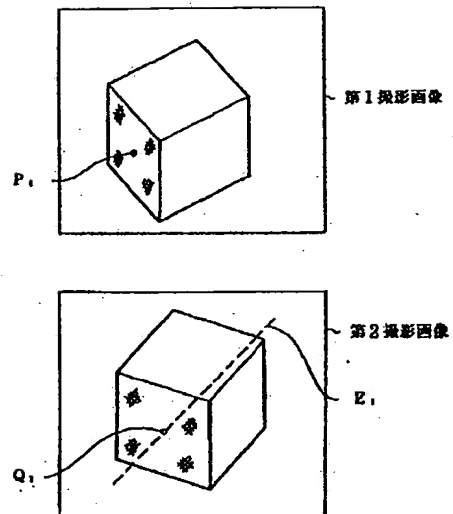
m . . . M の撮影画像上の点 (ベクトル)

P . . . 3 次元空間から画像への射影変換行列

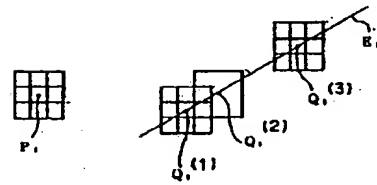
【図1】



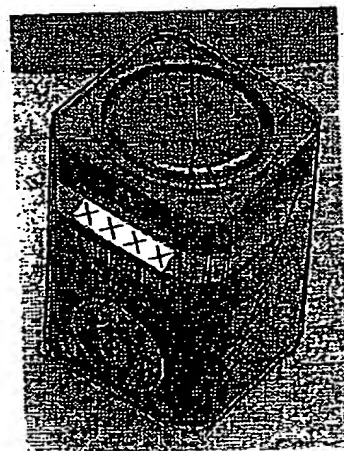
【図3】



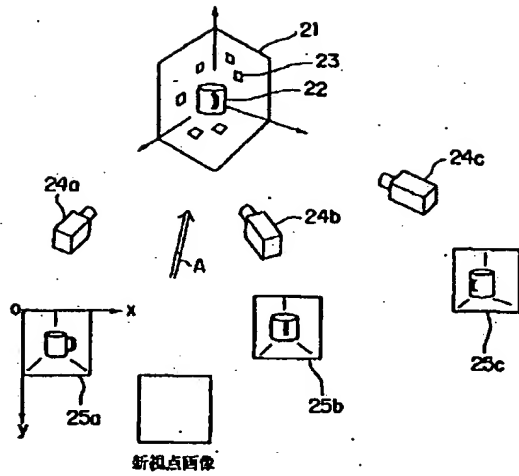
【図4】



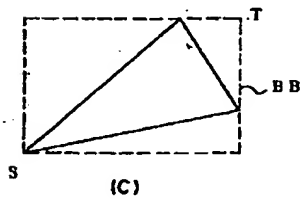
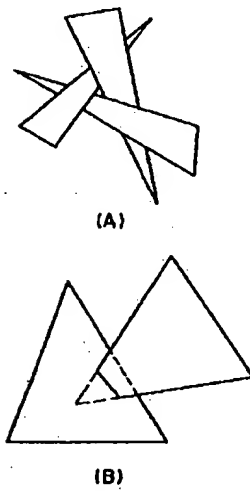
【図5】



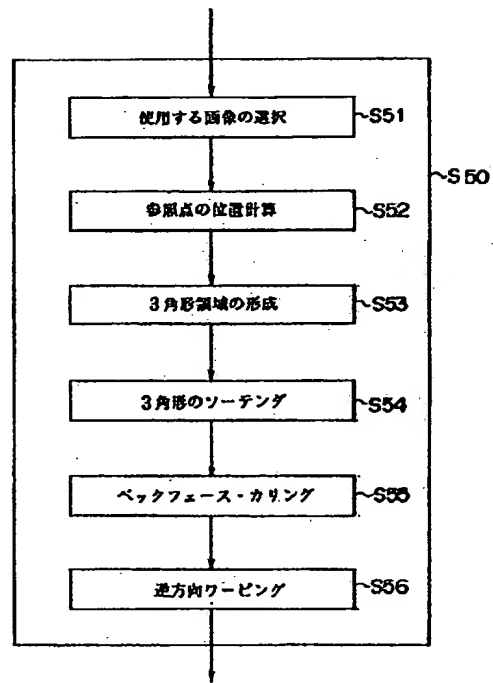
【図2】



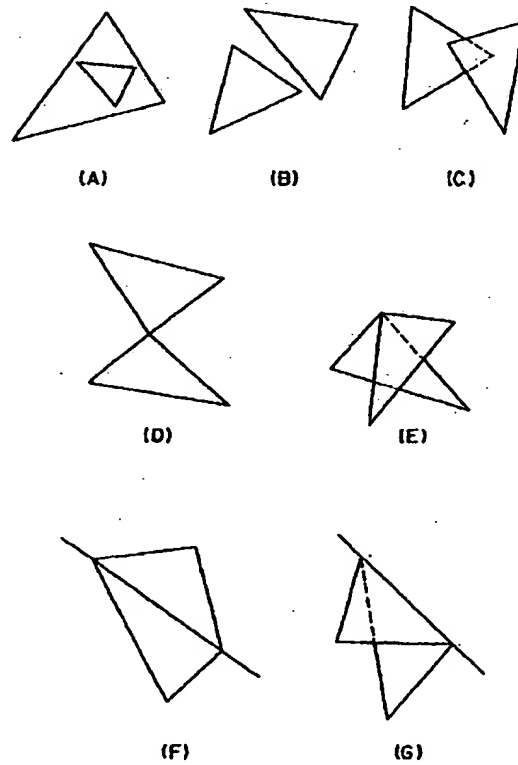
【図7】



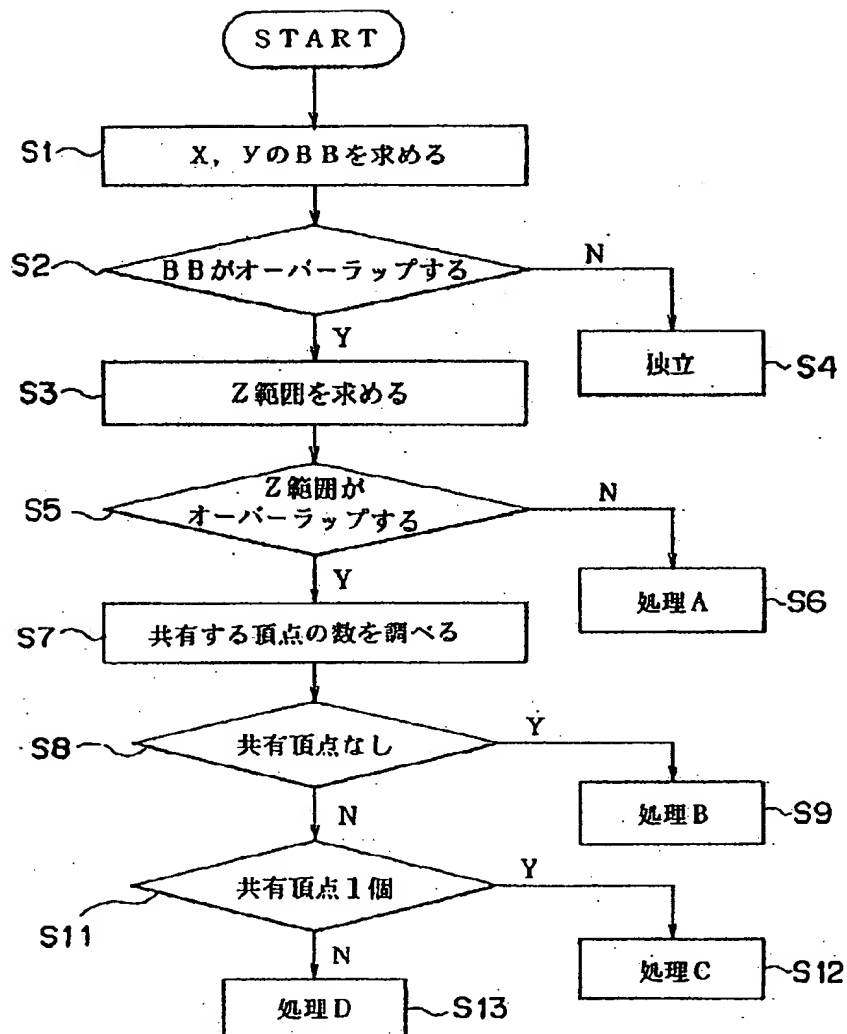
【図6】



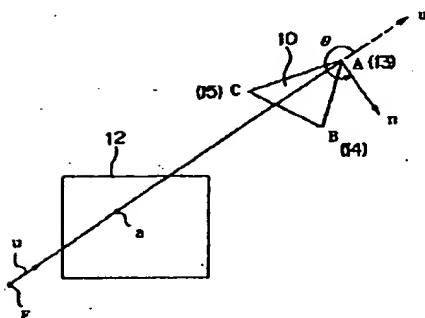
【図9】



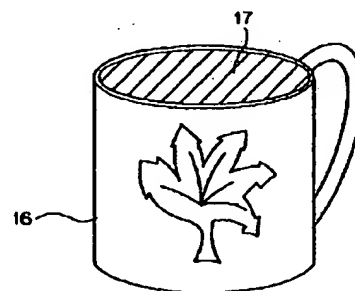
【図8】



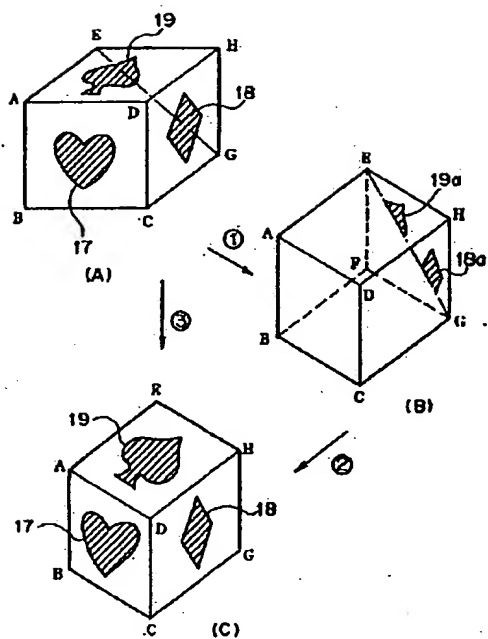
【図10】



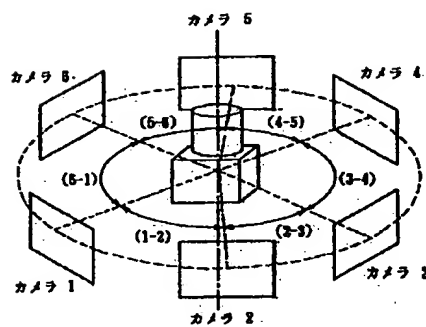
【図12】



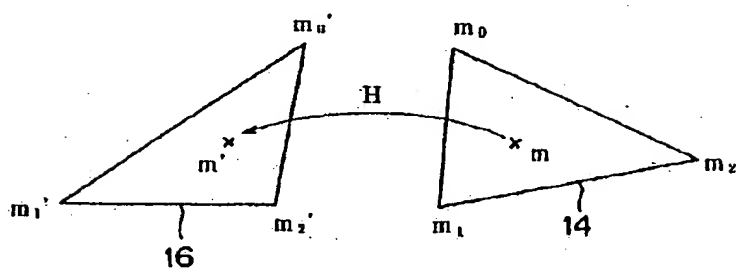
【図11】



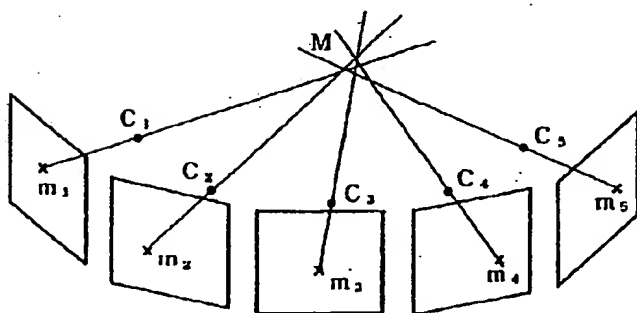
【図14】



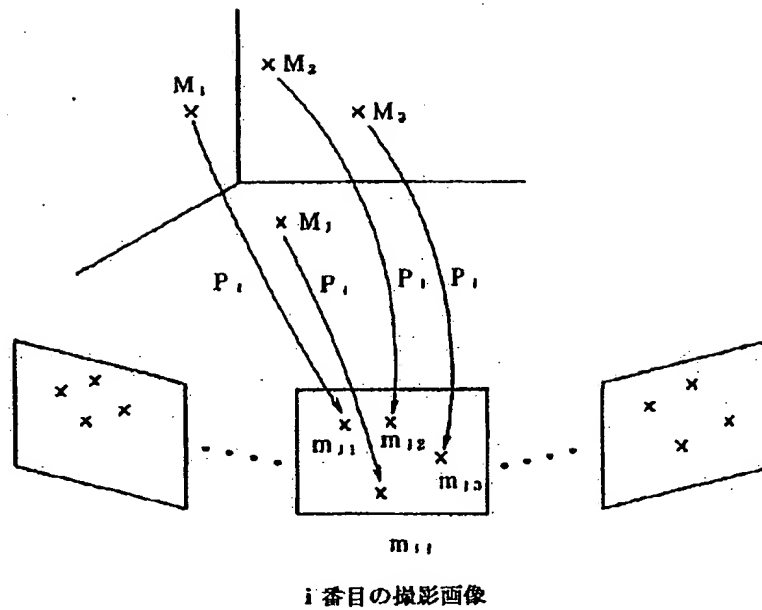
【図13】



【図15】



【図 16】



フロントページの続き

(72)発明者 フィリップ ボロミエ
東京都渋谷区広尾 5-19-9 広尾 ON ビル
株式会社ゲン・テック内

(72)発明者 潘 天倫
東京都渋谷区広尾 5-19-9 広尾 ON ビル
株式会社ゲン・テック内
Fターム(参考) 5B050 BA04 BA07 BA09 DA07 EA05
EA11 EA26
5B057 BA02 CA13 CB13 CD20
5B080 BA07 GA21